

Technical Paper

Rasio Input Energi dan Volume Reaktan pada Penerapan Ultrasonik untuk Pengolahan Biodiesel

Ratio Input on Energy and Volume Reactants Application for Ultrasonic Processing Biodiesel

Bambang Susilo¹, La Chovia Hawa² dan Moch. Bagus Hermanto²

Abstract

The application of ultrasonic on biodiesel processing can increase the reaction rate and improve the conversion of plant oils into biodiesel. Factors affecting the rate of reaction on the application of ultrasonic waves for biodiesel processing are temperature increasing, acoustic mixing, onset of cavitations and surface tension on the micro bubble, and the formation of hot spots in the form of instantaneous pressure and high temperature on the molecular scale. The vibrator dipped into the reactants transferred mechanical energy which was transformed into heat, cavitations and hot spots. This research was conducted to see the effect of the volume ratio of reactants and input energy on the rate of conversion of triglycerides into biodiesel. The results of this study demonstrated a significant effect of the energy input to the conversion of triglycerides into biodiesel. The greater specific input energy produced the higher conversion and the higher reaction rate. Input energy by using ultrasonic was significantly lower than the use of a mechanical stirrer.

Keywords: ultrasonic, input energy, biodiesel, conversion rate

Diterima: 14 Mei 2010; Disetujui: 28 September 2010

Pendahuluan

Biodiesel adalah bahan bakar (*fuel*) yang dapat dibuat melalui transesterifikasi minyak hasil-hasil pertanian (gliserida) menjadi alkil ester, umumnya dalam bentuk metil atau etil ester. Proses transesterifikasi konvensional umumnya berlangsung dalam sistem *batch* dengan menggunakan pengaduk mekanik. Proses ini membutuhkan waktu lama, antara 30 menit hingga 2 jam agar reaksi berlangsung sempurna di mana konversi trigliserida menjadi dan metil atau alkil ester mencapai maksimum, yaitu sekitar 96%. Penggunaan gelombang ultrasonik untuk memperbaiki proses transesterifikasi belum banyak dilaporkan peneliti terdahulu.

Gelombang ultrasonik yang dirambatkan pada cairan akan menimbulkan kavitasi berupa gelembung mikro (*micro bubble*). Kavitasi menimbulkan aliran akustik di dalam cairan dan menyebabkan proses pencampuran di dalam sistem lebih efektif. Campuran metanol-minyak tanaman merupakan cairan sistem dua fase. Gelombang ultrasonik merubah sistem dua fase campuran minyak tanaman-methanol menjadi cairan satu fase sehingga kontak antar molekul lebih intensif, sehingga dapat meningkatkan

laju transesterifikasi. Kavitasi meningkatkan transfer massa dan laju reaksi kimia komponen reaktan di dalam reaktor.

Gelombang ultrasonik adalah gelombang akustik dengan frekuensi lebih besar dari 18 kHz. Oleh karena frekuensinya di luar ambang batas kemampuan pendengaran manusia, maka seperti halnya gelombang infra sonik gelombang ultrasonik juga tidak mampu dideteksi oleh indra pendengaran manusia.

Batas atas frekuensi dari gelombang ultrasonik masih belum ditentukan dengan jelas. Yang dapat diketahui adalah daerah frekuensi yang biasa dipakai dalam berbagai macam penggunaan. Di dalam penggunaan yang memerlukan intensitas tinggi (*macrosonic*) biasanya digunakan frekuensi dari puluhan hingga ratusan kiloherzt. Aplikasi di bidang kedokteran misalnya *ultrasonography* dan uji tak merusak biasanya digunakan gelombang ultrasonik dengan frekuensi antara 1 megahertz sampai dengan 10 megahertz. Gelombang ultrasonik dengan frekuensi sangat tinggi disebut sebagai *microwave ultrasonics*

Gelombang ultrasonik adalah gelombang mekanik dengan frekuensi di atas ambang pendengaran

¹ Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agricultural Technology University of Brawijaya, Malang.
Email: susilo@brawijaya.ac.id

² Staf Pengajar Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya

manusia (Bindal, 1999). Gelombang ultrasonik yang dirambatkan pada cairan akan menimbulkan kavitasi berupa gelembung mikro (*micro bubble*). Kavitasi menimbulkan aliran akustik di dalam cairan dan menyebabkan proses pencampuran di dalam sistem lebih efektif (Gogate, *et.al.*, 2006). Campuran metanol-minyak tanaman merupakan cairan sistem dua fase. Gelombang ultrasonik merubah sistem dua fase campuran minyak tanaman-methanol menjadi cairan satu fase sehingga kontak antar molekul lebih intensif dan dapat meningkatkan laju transesterifikasi (Susilo, 2009). Kavitasi meningkatkan transfer massa dan laju reaksi kimia komponen reaktan di dalam reaktor.

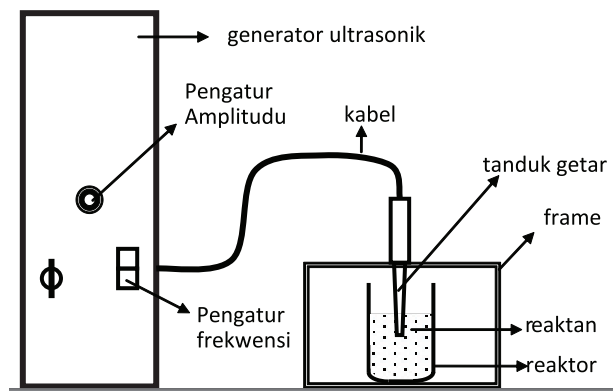
Bahan dan Metode

Bahan dan Alat

Bahan baku percobaan minyak goreng dengan merk Bimoli, metanol, asam sulfat, dan KOH dengan variabel bebas meliputi volume minyak goreng dan waktu proses. Variabel terkontrol dalam penelitian ini konsentrasi katalis dan frekuensi ultrasonik, sedangkan variable tidak bebasnya adalah endapan gliserol, konsentrasi TG, DG, MG dan E. Volume reaktan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 100 ml, 150 ml, 200 ml, 250 ml, dan 300 ml dengan waktu reaksi divariasikan 2 menit, 4 menit, 6 menit, 8 menit, 10 menit, dan 4 menit.

Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan instrumen ultrasonik merk Braun Sonic buatan USA type Braun-Sonic 2000 dengan rangkaian peralatan seperti pada Gambar 1. Amplitudo digunakan pada kondisi maksimum dengan frekwensi getar 19.3 kHz pada level bawah dan 29.53 kHz pada level atas. Pengukuran daya tanduk getar ultrasonik dilakukan dengan cara mencelupkan tanduk getar ke dalam air di dalam kalorimeter dengan massa tertentu dan mengukur perubahan suhu yang terjadi. Selanjutnya dalam percobaan transesterifikasi, tanduk getar dicelupkan pada kondisi maksimum sehingga daya yang disalurkan juga maksimum.



Gambar 1. Rangkaian piranti percobaan transesterifikasi dengan ultrasonik

Percobaan transesterifikasi dilangsungkan pada kondisi basa yaitu dengan katalis Kalium Hidroksida. Transesterifikasi dihentikan sesuai waktu yang telah ditentukan dengan cara menetralkan katalis dengan meneteskan H_2SO_4 secara stoikiometris. Sample biodisel selanjutnya disentrifugasi dengan putaran 5000 rpm selama 3 menit. Gliserin yang mengendap diukur volumenya untuk menghitung prosentase volumetrik yang terbentuk. Ester dipisahkan dari gliserin yang mengendap pada bagian bawah tabung menggunakan pipet tetes dengan hati-hati. Selanjutnya ester dicuci dua kali dengan aquades untuk menghilangkan katalis atau asam sulfat sisa. Setiap kali selesai tahap pencucian dilakukan pemisahan ester dengan air dan disentrifugasi selama 3 menit. Selanjutnya sample disimpan pada suhu $0^\circ C$ untuk kebutuhan analisa berikutnya .

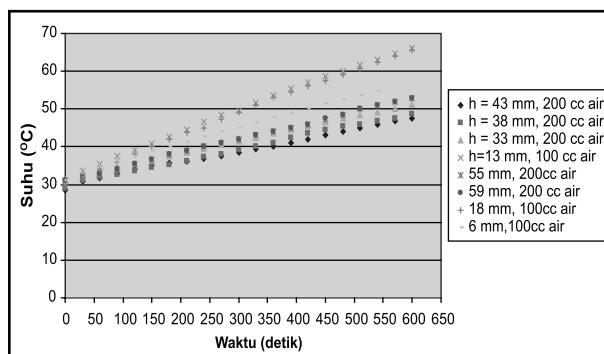
Hasil dan Pembahasan

Daya Tanduk Getar Ultrasonik

Laju kenaikan temperatur tergantung dari kedalaman celup tanduk getar dan volume air. Semakin tinggi kedalaman dan semakin kecil volume air semakin tinggi laju perubahan suhu. Perkalian massa air dengan perubahan suhu merupakan energi yang disalurkan sedangkan perkalian massa air dengan laju perubahan suhu merupakan daya yang dihasilkan tanduk getar ultrasonik. Gambar 2. menunjukkan hubungan laju perubahan suhu terhadap kedalaman celup tanduk getar dan volume air yang digunakan.

Dengan persamaan $E = \frac{dQ}{dT} = (m_a c_{pa} + m_k c_{pk})$ dan $P = \frac{dE}{dT}$ didapatkan daya tanduk getar ultrasonik.

Semakin tinggi kedalaman celup tanduk getar semakin tinggi daya yang disalurkan, namun ada asimtot kurva di mana daya menjadi konstan mulai kedalaman 55 mm yaitu 31.23 Watt. Dengan demikian daya maksimum yang bisa disalurkan tanduk getar adalah 31.23 Watt.



Gambar 2. Perubahan suhu pada berbagai kedalaman celup tanduk getar dan volume air pada frekuensi ultrasonik 29.53 kHz

Prosentase Gliserol

Prosentase volumetrik gliserol yang terbentuk menunjukkan keberhasilan proses pengolahan biodiesel secara kasar. Gliserol yang dihasilkan pada proses merupakan indikator berlangsungnya proses transesterifikasi. Gliserol merupakan produk akhir proses dan memiliki massa jenis jauh lebih besar dibandingkan ester, trigliserida, monogliserida, dan digliserida, oleh karena itu setelah gliserol terbentuk akan mengendap pada saat reaksi dihentikan. Secara visual gliserol akan mudah diamati. Cairan pada bagian atas hasil percobaan bukan merupakan indikator prosentase ester yang terbentuk karena fase cair tersebut tidak selalu merupakan ester murni akan tetapi masih merupakan campuran Trigliserida, Digliserida, Monogliserida dan Metil ester. Hasil percobaan pada seluruh perlakuan penggunaan katalis menunjukkan transesterifikasi dalam waktu 60 detik sudah terbentuk endapan gliserol.

Penggunaan ultrasonik menunjukkan reaksi transesterifikasi optimal ada pada kisaran waktu 60 menit. Hal ini sesuai hasil penelitian Susilo (2009) yang menunjukkan hasil optimal penggunaan ultrasonik ada pada kisaran waktu 1 menit. Perbedaan input energi spesifik menunjukkan peningkatan gliserol yang terbentuk sebanding dengan peningkatan input energi spesifik, akan tetapi pola terbentuknya gliserol menunjukkan kecenderungan yang sama di mana prosentase gliserol terbesar ada pada kisaran proses 1 menit. Peningkatan input energi spesifik hanya menggeser kurva menuju terbentuknya gliserol yang lebih tinggi. Hal ini berarti bahwa input energi meningkatkan laju transesterifikasi.

Penggunaan daya yang lebih kecil pada frekuensi dan molaritas katalis yang sama hanya menggeser bentuk kurva ke arah kanan, dengan demikian puncak kurva yang menunjukkan konversi trigliserida maksimum juga bergeser ke kanan. Daya ultrasonik yang kecil memberikan efek pengadukan kurang sempurna sehingga perubahan sistem dua fase cair menjadi sistem satu fase cair terlambat. Hal ini menyebabkan pemicu reaksi transesterifikasi hadir lebih lambat, di mana semakin cepat terbentuknya

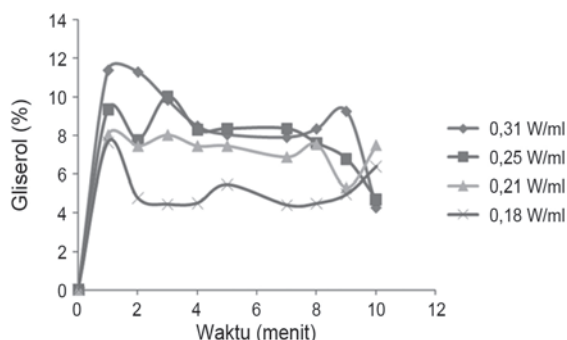
satu fase cair akan memicu reaksi transesterifikasi berikutnya karena peluang terjadinya kontak antara trigliserida dengan metoksid menjadi lebih besar. Dengan demikian untuk mencapai konversi Trigliserida yang maksimum dibutuhkan waktu yang lebih lama.

Bentuk kurva persentase gliserol memiliki kecenderungan grafik yang sama, di mana pada awal proses tampak laju reaksi sangat tinggi kemudian setelah sampai puncak akan menurun atau laju reaksi cenderung konstan. Pada percobaan dengan pengadukan mekanis, kurva lebih cenderung membentuk kurva sigmoid (Nouredinni dan Zhu, 1999). Pada awal reaksi persentase gliserol meningkat dengan lambat, kemudian diikuti laju reaksi yang tinggi ditandai dengan gradien yang tajam kemudian setelah sampai pada puncak kurva gradien menurun perlahan dan bahkan menjadi negatif.

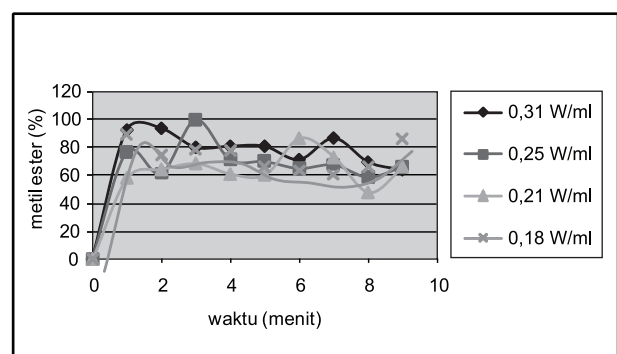
Reaksi transesterifikasi dengan gelombang ultrasonik menunjukkan mekanisme seolah-olah berbeda dengan penggunaan pengaduk mekanis akan tetapi sebenarnya ada kemiripan. Pada penggunaan pengaduk mekanis reaksi berlangsung dalam tiga tahapan sebagai berikut (Nouredinni dan Zu, 1997) : pada awalnya reaktan membentuk sistem cairan dua fase. Reaksi yang terjadi pada tahapan ini merupakan kontrol difusi, di mana pada tahapan tersebut miskin transfer massa antar fase sehingga reaksi sangat lambat. Pada penggunaan gelombang ultrasonik mekanisme tahap pertama seolah-olah tidak ada dan tahapan reaksi kelihatan langsung memasuki mekanisme tahap ke dua.

Prosentase TG, DG, MG, Gliserol dan Ester

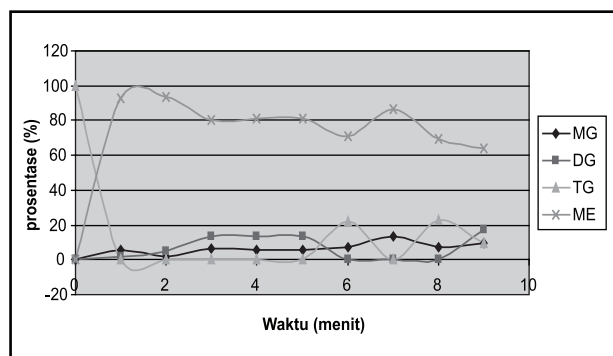
Data lengkap hasil analisa TLC ditampilkan pada Gambar 4. kecenderungan grafik produksi metil ester mirip dengan hasil penelitian pengendapan gliserol sebelumnya. Pada menit-menit awal gradien grafik tampak sangat tajam dan setelah melewati waktu 1 menit gradien mulai menurun. Hasil yang menarik dari penelitian ini adalah puncak ester yang terbentuk ada pada menit pertama konversi Trigliserida menjadi biodiesel. Hasil tersebut diikuti dengan menurunnya prosentase massa Trigliserida



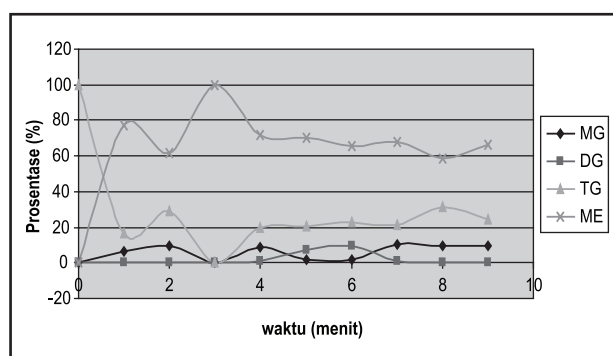
Gambar 3. Prosentase gliserol yang terbentuk



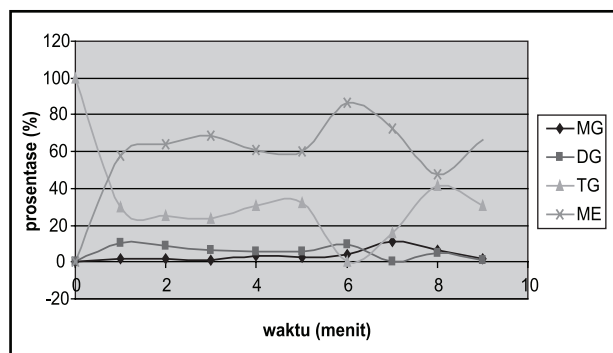
Gambar 4. Produksi metil ester sebagai fungsi waktu



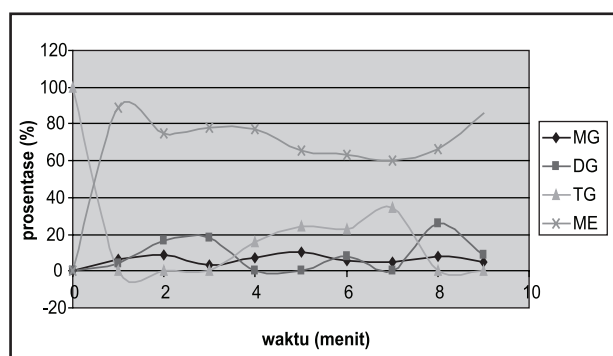
Gambar 5. Prosentase TG, DG, MG dan Ester dengan input daya 0.31 W/ml



Gambar 6. Prosentase TG, DG, MG dan Ester dengan input daya 0.25 W/ml



Gambar 7. Prosentase TG, DG, MG dan Ester dengan input daya 0.21 W/ml



Gambar 8. Prosentase TG, DG, MG dan Ester dengan input daya 0,18 W/ml

dari 100% menurun menjadi 9.27% pada detik ke 30 dan 0% pada transesterifikasi menit pertama. Kondisi tersebut tidak pernah tercapai pada transesterifikasi konvensional dengan pengadukan mekanis di mana konversi maksimum yang dicapai hanya berkisar 95% (Suess, 2001).

Menurunnya kembali konsentrasi metil ester dan terbentuknya kembali trigliserida setelah transesterifikasi melewati 1 menit dikarenakan reaksi berlangsung reversibel baik dari Trigliserida menjadi digliserida, dari Digliserida menjadi Monogliserida maupun dari Monogliserida menjadi Metil Ester. Kemungkinan lain adalah adanya air di dalam sistem karena metanol yang digunakan adalah metanol teknis dengan kemurnian sekitar 95%. Metanol teknis masih mengandung air sekitar 5% dan cukup berpengaruh pada kondisi reaksi yang terjadi di dalam reaktor. Kehadiran air pada suhu tinggi akan menghidrolisis ester menjadi asam karboksilat dan alkohol (Fessenden dan Fessenden, 1997).

Rangkaian reaksi kimia yang berlangsung dalam satu sistem dengan konstanta laju reaksi yang berbeda memungkinkan konsentrasi molar masing-masing komponen zat berubah setiap saat karena konsentrasi tersebut tergantung dari konstanta keseimbangan dan konsentrasi masing-masing zat pada waktu sebelumnya. Kemungkinan lain adalah terjadinya hidrolisis ester akibat suhu massa keseluruhan (*bulk temperatur*) yang meningkat atau kemungkinan karena timbulnya bintik panas yang secara mikroskopik terjadi akibat timbulnya kavitas pada penerapan gelombang ultrasonik pada cairan.

Gambar 5 sampai dengan Gambar 8 menunjukkan penggunaan gelombang ultrasonik pada transesterifikasi tidak ditemukan daerah kontrol transfer massa atau walaupun terjadi maka waktunya sangat pendek sehingga pada kurva tidak terlihat dengan jelas. Terbentuknya gelembung kavitas menyebabkan timbulnya aliran akustik, di mana fluida mengalir sangat cepat dan menyebabkan turbulensi fluida. Turbulensi fluida merupakan indikator nilai bilangan Reynold yang tinggi. Hasil penelitian Nouredini dan Zhu (1997) menunjukkan bilangan Reynold yang tinggi akan mempersempit daerah kontrol transfer massa yang menyebabkan kurva bergeser menuju waktu yang lebih pendek. Meskipun dalam penelitian ini belum bisa mengungkap berapa besarnya bilangan Reynold akibat aplikasi ultrasonik, akan tetapi fenomena menunjukkan bahwa aplikasi ultrasonik meningkatkan bilangan Reynold baik akibat aliran akustik Mason maupun karena turunnya viskositas akibat suhu yang terus meningkat.

Neuroddini dan Zhu (1997) juga menemukan bahwa bilangan Reynold yang tinggi akan menurunkan energi aktivasi. Mengacu dari penemuan tersebut, penggunaan gelombang ultrasonik berimplikasi pada penurunan energi

aktivasi karena bilangan Reynold akan meningkat. Berbagai faktor akibat penerapan ultrasonik akan meningkatkan transfer energi secara molekuler pada reaktan dan energi aktivasi dalam waktu yang relatif singkat sehingga reaksi transesterifikasi berlangsung lebih cepat.

Pada proses pengadukan mekanis, temperatur berpengaruh positif pada laju reaksi transesterifikasi seperti hasil penelitian Suess (1998), Darnoko dan Cheryan (2000), Nouroddini dan Zhu (1997), serta simulasi dari Allen dan Prateepchaikul (2006). Kenyataan bahwa produksi metil ester dan laju reaksi transesterifikasi dengan gelombang ultrasonik jauh lebih tinggi dibandingkan dengan simulasi dengan pengadukan mekanis. Artinya ada sesuatu yang berpengaruh pada penerapan gelombang ultrasonik selain dari sekedar kenaikan suhu.

Kebutuhan Energi

Input energi yang dibutuhkan untuk pengolahan biodiesel dengan gelombang ultrasonik lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan pengaduk mekanis. Hasil perhitungan Susilo (2008) input energi untuk pengolahan biodiesel menggunakan pengaduk mekanik sebesar 1200 kJ/liter sedangkan Suess (1999) energi untuk transesterifikasi dan filtrasi minyak jelantah 2897 kJ/liter. Penggunaan gelombang ultrasonik membutuhkan energi langsung dari tanduk getar 13.38 kJ/liter. Dengan efisiensi energi pembangkit ultrasonik sistem tanduk getar sebesar 7.6% (Gogate, *et.al.*, 2006) maka energi yang dibutuhkan sebesar 176.06 kJ/liter, masih jauh lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan pengaduk mekanis.

Kesimpulan

Penggunaan ultrasonik memperpendek waktu pengolahan biodiesel dan semakin tinggi input energi semakin tinggi konversi minyak tanaman menjadi biodiesel. Proses transfer massa

pengolahan biodiesel penggunaan ultrasonik dipercepat sehingga kurva pembentukan ester menjadi berbeda dengan pengaduk mekanis. Kebutuhan energi spesifik pengolahan biodiesel dengan menggunakan gelombang ultrasonik lebih rendah dibandingkan dengan pengolahan dengan pengaduk mekanik.

Ucapan Terima Kasih

Artikel ilmiah ini merupakan bagian hasil penelitian Fundamental yang didanai Direktorat P2M Dirjen Pendidikan Tinggi dengan judul "Model Kavitas Irradiasi Gelombang Ultrasonik pada Transesterifikasi Minyak Tanaman Menjadi Biodiesel". Dengan ini penulis mengucapkan terima kasih.

Daftar Pustaka

- Bindal, V.N. 1999. Transducers for Ultrasonic Flaw Detection. Narosa Publishing House. London.
- Fessenden, R.J. dan J.S.Fessenden. 1997. Dasar-Dasar Kimia Organik. Terjemahan. Binarupa aksara. Jakarta
- Gogate, P.R., R.K. Tayal dan A.B. Pandit. 2006. Cavitation: A technology on the horizon *CURRENT SCIENCE*, VOL. 91, NO. 1, 10 JULY 2006.
- Nouredinni, H dan D.Zu. 1997. Kinetics of transesterification of soybean oil. *JAOCS Vol 74 no 11. hal. 1457-1461*
- Suess, A.A.A. 1999. Wiederverwertung von gebrauchten Speiseölen/-fetten im energetisch-technischen Bereich. *Fortschritt-Berichte VDI*. VDI Verlag GmbH. Dusseldorf, Germany.
- Susilo, B. 2009. Kinetic Model of Biodiesel Processing with Ultrasound. *Prociding of International Seminar. ISAE*. Bogor.